

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
24. Januar 2008 (24.01.2008)

PCT

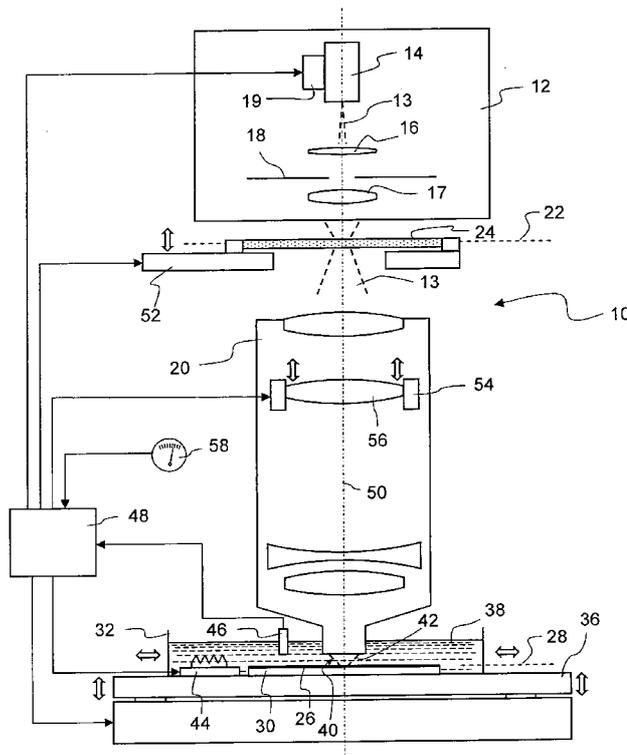
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/009356 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G03F 7/20 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/005986
- (22) Internationales Anmeldedatum:
6. Juli 2007 (06.07.2007)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2006 032 877.9 15. Juli 2006 (15.07.2006) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): CARL ZEISS SMT AG [DE/DE]; Rudolf-Eber-Str. 2, 73446 Oberkochen (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GRUNER, Toralf [DE/DE]; Opalstr. 22, 73433 Aalen-Hofen (DE). ZAHLTEN, Claus [DE/DE]; Bergheimer Str. 129, 69115 Heidelberg (DE). TSCHISCHGALE, Jörg [DE/DE]; Stauffenbergallee 9a, 01099 Dresden (DE).
- (74) Anwälte: SCHWANHÄUSSER, Gernot usw.; Ostertag & Partner, Patentanwälte, Epplestr. 14, 70597 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICROLITHOGRAPHIC PROJECTION EXPOSURE APPARATUS AND METHOD FOR CORRECTING IMAGING ABERRATIONS

(54) Bezeichnung: MIKROLITHOGRAPHISCHE PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE SOWIE VERFAHREN ZUR KORREKTÜR VON ABBILDUNGSFEHLERN



(57) Abstract: A microlithographic projection exposure apparatus has a projection objective (20; 120), containing a plurality of optical elements (56; 156), and also a device (58; 116, 155, 162a, 162b), at which a device parameter can be called up. The device parameter relates to an ambient condition or a state variable of at least one of the optical elements. The device parameter can also relate to a manipulated variable of an actuation element that can be used to vary the effect of at least one component (116) of the projection exposure apparatus. The temperature of a liquid (38; 138) which is arranged within or outside the projection objective and through which projection light (13; 113) passes can be set to a desired value by means of a temperature regulating device (44; 144). A control unit (48; 148) determines the desired value for the temperature of the liquid depending on the device parameter.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/009356 A1



LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage weist ein Projektionsobjektiv (20; 120), das mehrere optische Elemente (56; 156) enthält, sowie ein Gerät (58; 116, 155, 162a, 162b) auf, an dem ein Geräteparameter abrufbar ist. Der Geräteparameter bezieht sich auf eine Umgebungsbedingung oder eine Zustandsgröße von mindestens einem der optischen Elemente. Der Geräteparameter kann sich auch auf eine Stellgröße eines Betätigungselements beziehen, durch das die Wirkung wenigstens einer Komponente (116) der Projektionsbelichtungsanlage veränderbar ist. Mit einer Temperiereinrichtung (44; 144) ist die Temperatur einer innerhalb oder außerhalb des Projektionsobjektivs angeordneten und von Projektionslicht (13; 113) durchtretenen Flüssigkeit (38; 138) auf einen Sollwert einstellbar. Eine Steuerungseinheit (48; 148) bestimmt den Sollwert für die Temperatur der Flüssigkeit in Abhängigkeit von dem Geräteparameter.

- 1 -

MIKROLITHOGRAPHISCHE PROJEKTIONSBELICHTUNGSANLAGE SOWIE
VERFAHREN ZUR KORREKTUR VON ABBILDUNGSFEHLERN

=====

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft mikrolithographische Projektions-
belichtungsanlagen, wie sie zur Herstellung hochinte-
5 grierter Schaltkreise und anderer mikrostrukturierter
Bauteile verwendet werden. Die Erfindung betrifft insbe-
sondere die Korrektur von optischen Abbildungsfehlern in
Projektionsobjektiven solcher Projektionsbelichtungsanla-
gen.

10 2. Beschreibung des Standes der Technik

Integrierte elektrische Schaltkreise und andere mikro-
strukturierte Bauelemente werden üblicherweise herge-
stellt, indem auf ein geeignetes Substrat, bei dem es
sich beispielsweise um einen Silizium-Wafer handeln kann,
15 mehrere strukturierte Schichten aufgebracht werden. Zur
Strukturierung der Schichten werden diese zunächst mit
einem Photolack bedeckt, der für Licht eines bestimmten
Wellenlängenbereiches, z.B. Licht im tiefen ultraviolet-
ten Spektralbereich (DUV, deep ultraviolet), empfindlich
20 ist. Anschließend wird der so beschichtete Wafer in einer
Projektionsbelichtungsanlage belichtet. Dabei wird ein

- 2 -

Muster aus Strukturen, das sich auf einer Maske befindet, auf den Photolack mit Hilfe eines Projektionsobjektivs abgebildet. Da der Abbildungsmaßstab dabei im allgemeinen kleiner als 1 ist, werden derartige Projektionsobjektive häufig auch als Reduktionsobjektive bezeichnet.

Nach dem Entwickeln des Photolacks wird der Wafer einem Ätzprozeß unterzogen, wodurch die Schicht entsprechend dem Muster auf der Maske strukturiert wird. Der noch verbliebene Photolack wird dann von den verbleibenden Teilen der Schicht entfernt. Dieser Prozeß wird so oft wiederholt, bis alle Schichten auf den Wafer aufgebracht sind.

Projektionsbelichtungsanlagen weisen neben dem Projektionsobjektiv noch andere wichtige Komponenten auf. Eine davon ist das Beleuchtungssystem, mit dem die Maske mit den zu projizierenden Strukturen beleuchtet wird. Ferner müssen sehr präzise arbeitende Verfahrtsysteme vorhanden sein, mit denen sich die Maske und der Wafer verfahren und exakt positionieren lassen.

Eines der wesentlichen Ziele bei der Entwicklung von Projektionsbelichtungsanlagen besteht darin, Strukturen mit zunehmend kleineren Abmessungen auf dem Wafer lithographisch erzeugen zu können. Kleine Strukturen führen zu hohen Integrationsdichten, was sich im allgemeinen günstig auf die Leistungsfähigkeit der mit Hilfe derartiger Anlagen hergestellten mikrostrukturierten Bauelemente auswirkt.

- Die Größe der erzeugbaren Strukturen hängt vor allem von der Auflösung des verwendeten Projektionsobjektivs ab. Da die Auflösung der Projektionsobjektive proportional zu der Wellenlänge des Projektionslichts ist, besteht ein
- 5 Ansatz zur Erhöhung der Auflösung darin, Projektionslicht mit immer kürzeren Wellenlängen einzusetzen. Die kürzesten zur Zeit verwendeten Wellenlängen liegen im ultravioletten Spektralbereich und betragen 248 nm, 193 nm oder 157 nm.
- 10 Ein anderer Ansatz zur Erhöhung der Auflösung geht von der Überlegung aus, in einen Immersionsraum, der zwischen einer bildseitig letzten Linse des Projektionsobjektivs und dem Photolack oder einer anderen zu belichtenden lichtempfindlichen Schicht verbleibt, eine Immersions-
- 15 flüssigkeit mit hoher Brechzahl einzubringen. Projektionsobjektive, die für den Immersionsbetrieb ausgelegt sind und deswegen auch als Immersionsobjektive bezeichnet werden, können numerische Aperturen von mehr als 1, z.B. 1.3 oder 1.4, erreichen.
- 20 Mit einer hohen Auflösung lassen sich jedoch nur dann hohe Integrationsdichten erzielen, wenn Abbildungsfehler im Projektionsobjektiv ausreichend korrigiert werden. Die Ursachen für Abbildungsfehler in Projektionsobjektiven sind vielfältig. Besonders schwierig zu korrigieren sind
- 25 häufig solche Abbildungsfehler, die auf Material- oder Fertigungsfehler zurückgehen. Gleiches gilt für Abbildungsfehler, die durch erst während des Betriebes auftre-

tende Veränderungen der in dem Projektionsobjektiv enthaltenen optischen Elemente verursacht werden. Dabei kann es sich beispielsweise um vorübergehende Formveränderungen handeln, die aus einer lokalen Erwärmung durch das energiereiche Projektionslicht resultieren. Das Projektionslicht kann auch unmittelbar mit dem Material wechselwirken, aus dem die optischen Elemente bestehen, und darin z.B. dauerhafte Veränderungen der Brechzahl bewirken.

Eine andere Ursache für Abbildungsfehler sind Veränderungen bestimmter Umgebungsbedingungen, die einen Einfluß auf die Abbildungseigenschaften haben. Zu diesen Umgebungsbedingungen zählen insbesondere der Druck und die Temperatur von Gasen, die von Projektionslicht durchtreten werden. Die Brechung an einer Grenzfläche zwischen einem Gas und einem festem Medium, z.B. Quarzglas oder einem kristallinen Material wie etwa CaF_2 , hängt von der Brechzahl des Gases und von der Brechzahl des festen Mediums ab. Ändert sich der Druck und/oder die Temperatur des Gases, so ändert sich auch die Dichte und damit auch die Brechzahl des Gases. Gemäß der idealen Gasgleichung wirken sich z.B. Druckschwankungen bei konstanter Temperatur linear auf die Dichte aus. Da man beim Entwerfen des Projektionsobjektivs von bestimmten Brechzahlen der Gase und der festen Medien ausgeht, verschlechtern sich die optischen Eigenschaften des Projektionsobjektivs, wenn sich der Druck und/oder die Temperatur und damit der die Brechzahl der an die brechenden Grenzflächen angrenzenden Gase verändern.

Die Ursachen für Druckänderungen von Gasen sind vielfältig. Neben der Höhe über dem Meeresspiegel wirken sich auch wetterbedingte Schwankungen des barometrischen Außendrucks auf die Brechzahl der Gase aus.

5 Zur Korrektur von Abbildungsfehlern, die durch Veränderungen des Gasdrucks hervorgerufen werden, ist es bekannt, die Wellenlänge des Projektionslichts zu verändern, das nach Beugung an der Maske das Projektionsobjektiv durchtritt. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, daß
10 vor allem bei flüssigen und festen Medien die Brechzahl relativ stark von der Wellenlänge des Projektionslichts abhängt. Bei gängigen Linsenmaterialien für Projektionsobjektive, z.B. Quarzglas oder CaF_2 , ist diese als Dispersion bezeichnete Abhängigkeit bei einer Wellenlänge
15 von 193 nm so groß, daß man bereits durch kleine Veränderungen der Wellenlänge eine spürbare Veränderung der Brechzahl in den festen Medien erzielen kann. Dadurch wird es möglich, den für die Brechung an der Grenzfläche zwischen gasförmigen und festen Medien entscheidenden
20 Brechzahlquotienten auch dann konstant zu halten, wenn sich die Brechzahl des gasförmigen Mediums verändert. Die Veränderung der Wellenlänge des Projektionslichts wird dabei im allgemeinen durch Verstellen des Resonators eines als Lichtquelle benutzten Lasers herbeigeführt.

25 Eine auf diese Weise durchgeführte Korrektur von Abbildungsfehlern, die durch Druckschwankungen umgebender Gase hervorgerufen werden, gelingt allerdings nur dann sehr

- 6 -

gut, wenn alle festen brechenden Medien in dem Projektionsobjektiv aus dem gleichen Material, z.B. Quarzglas, hergestellt sind. Werden unterschiedliche Materialien, z.B. neben Quarzglas noch CaF_2 , BaF_2 oder Lutetiumgranat (LuAG), eingesetzt, so läßt sich nicht mehr für alle brechenden Flächen der Brechzahlquotient konstant halten, wenn sich der Gasdruck verändert, da die Materialien im allgemeinen eine unterschiedliche Dispersion haben.

Aus der WO 2004/053596 A2 ist eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage bekannt, bei der zur Korrektur von Abbildungsfehlern, und zwar insbesondere der sphärischen Aberration, die Temperatur einer Immersionsflüssigkeit gezielt eingestellt wird. Dort werden zunächst die Abbildungsfehler in einer Bildebene des Projektionsobjektivs gemessen und daraus die Solltemperatur der Immersionsflüssigkeit abgeleitet.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Aufgabe der Erfindung ist es, eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage anzugeben, mit der sich zeitlich verändernde Abbildungsfehler besser korrigieren lassen.

Gelöst wird diese Aufgabe durch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit:

- 7 -

- a) einem Projektionsobjektiv, das mehrere optische Elemente enthält,
- b) einem Gerät, an dem ein Geräteparameter abrufbar ist, wobei der Geräteparameter sich auf eine Umgebungsbedingung oder eine Zustandgröße von mindestens einem der optischen Elemente oder auf eine Stellgröße eines Betätigungselements bezieht, durch das die Wirkung wenigstens einer Komponente der Projektionsbelichtungsanlage veränderbar ist,
- 5
- c) einer Temperiereinrichtung, mit welcher die Temperatur einer innerhalb oder außerhalb des Projektionsobjektivs angeordneten und von Projektionslicht durchtretenen Flüssigkeit auf einen Sollwert einstellbar ist,
- 10
- d) einer Steuerungseinheit, welche den Sollwert für die Temperatur der Flüssigkeit in Abhängigkeit von dem Geräteparameter bestimmt.
- 15
- 25

Erfindungsgemäß wurde erkannt, daß sich durch eine Temperaturveränderung einer Flüssigkeit bestimmte Abbildungsfehler, z.B. solche, die eine Veränderung des Brechzahlquotienten an Grenzflächen zwischen einem Gas und einem festen oder flüssigen optischen Material, sehr weitgehend kompensieren lassen. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, daß für kurzwelliges Licht transparente Flüssigkeiten eine Brechzahl haben, die relativ stark (in der

Größenordnung von etwa $-0,0001/K$) von der Temperatur abhängt. Wegen dieser Temperaturabhängigkeit muß die Temperatur von Flüssigkeiten, die als optische Medien verwendet werden, ohnehin sehr genau auf einen beim Entwurf des Projektionsobjektivs veranschlagten Sollwert eingestellt werden. Wird dieser Sollwert geringfügig verändert, so lassen sich mit Hilfe der Flüssigkeit sehr gut Abbildungsfehler korrigieren, die durch verschiedene Ursachen, z.B. durch Schwankungen des Drucks oder der Temperatur eines Gases, hervorgerufen werden.

Die Erfindung beruht ferner auf der Erkenntnis, daß es nicht unbedingt erforderlich ist, für eine wirkungsvolle Korrektur von Abbildungsfehlern mit Hilfe einer Temperaturveränderung der Flüssigkeit die Abbildungsfehler selbst zu messen, wie dies an sich im Stand der Technik bekannt ist. Vielmehr genügt es in vielen Fällen, wenn man die Vorgabe der Temperatur der Immersionsflüssigkeit von einfacher erfaßbaren Geräteparametern abhängig macht. Die Abhängigkeit der Temperatur der Flüssigkeit von einem oder mehreren Geräteparametern kann beispielsweise durch Kalibrierung ermittelt werden, so daß man den Sollwert der Temperatur der Flüssigkeit z.B. einfach aus einer Tabelle auslesen kann, in der die Sollwerte für die Temperatur für verschiedene Geräteparameter hinterlegt sind. Durch Simulation oder Kalibrierung bestimmte Abhängigkeiten können aber auch als Funktionen hinterlegt werden.

Durch diesen Rückgriff auf einfach ermittelbare Geräteparameter entfällt die relativ aufwendige Messung von Abbildungseigenschaften, die üblicherweise in der Bildebene des Projektionsobjektivs vorgenommen wird. Derartige Messungen unterbrechen den Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage und verursachen damit Produktionsausfälle. Die hier betrachteten Geräteparameter hingegen lassen sich kontinuierlich auch während des Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage ermitteln, so daß die Korrektur der Abbildungsfehler mit Hilfe der Temperatureinstellung der Flüssigkeit kontinuierlich oder intermittierend, aber zumindest während des laufenden Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage, z.B. während ohnehin erforderlicher kurzer Unterbrechungen zwischen Belichtungen, durchgeführt werden kann.

Die Flüssigkeit kann sich beispielsweise in einem Hohlraum des Projektionsobjektivs befinden, dessen Grenzflächen plan oder gekrümmt sind. Die Flüssigkeit bildet im letztgenannten Fall eine Flüssiglinse, wie man sie aus anderen Gründen bereits für Projektionsobjektive vorgeschlagen hat. Eine solche Flüssiglinse kann aber auch eigens für den Zweck vorgesehen sein, die hier beschriebene Korrektur von Abbildungsfehlern zu ermöglichen.

Bei Immersionsobjektiven steht mit der Immersionsflüssigkeit eine Flüssigkeit außerhalb des Projektionsobjektivs zur Verfügung, deren Temperatur gezielt verändert werden kann, um zeitlich veränderliche Abbildungsfehler zu kor-

rigieren. Die Immersionsflüssigkeit kann dabei objektseitig an eine plane oder an eine gekrümmte brechende Fläche angrenzen.

Bei dem Gerät, bei dem einer oder mehrere Geräteparameter
5 abrufbar sind, kann es sich z.B. um ein Barometer zur
Messung des Drucks oder ein Thermometer zur Messung der
Temperatur eines Gases handeln.

Als Barometer zur Messung des Drucks des Gases kommt jede
Einrichtung in Betracht, mit der sich mittelbar oder un-
mittelbar der Gasdruck bestimmen läßt. Am einfachsten ist
10 die Verwendung von Barometern üblicher Bauart, deren Meß-
signal unmittelbar den Gasdruck angibt. Unter mittelbarer
Messung wird dabei verstanden, daß sich der Gasdruck zu-
mindest prinzipiell aus der gemessenen Größe ableiten
15 läßt. Der Bestimmung des Temperatursollwerts in Abhängig-
keit vom gemessenen Gasdruck steht es deswegen gleich,
wenn der Sollwert in Abhängigkeit von einer anderen Größe
bestimmt wird, die aber mittelbar mit dem Gasdruck korre-
liert ist. Als Barometer in diesem Sinne wird deswegen
20 z.B. auch ein Gerät bezeichnet, das die Brechzahl des Ga-
ses mißt.

Bei Projektionsobjektiven mit einem druckdichten Gehäuse,
bei denen der Zwischenraum zwischen Linsen von einem
Spülgas durchspült wird, wird im allgemeinen der Druck
25 innerhalb des Gehäuses so in Abhängigkeit vom außerhalb
wirkenden Druck geregelt, daß die Druckdifferenz sich

nicht verändert. Auf diese Weise werden Verformungen des Gehäuses vermieden. Auch solche Projektionsobjektive haben jedoch zumindest an der Lichteintrittseite eine optische Fläche, die an ein umgebendes Gas angrenzt. Dieses Gas wird zwar in Reinräumen gereinigt, jedoch hängt der Druck des Gases dennoch von der Höhe des Reinraums über dem Meeresspiegel und im allgemeinen auch vom barometrischen Außendruck außerhalb des Reinraums ab. Je nach den gegebenen Verhältnissen ist deswegen das Barometer innerhalb des Projektionsobjektivs oder außerhalb des Projektionsobjektivs, jedoch vorzugsweise in der Nähe der betreffenden brechenden Flächen, anzuordnen. Unter Umständen kann es auch zweckmäßig sein, mehrere Barometer vorzusehen, wenn beispielsweise auf Grund eines Temperaturgefälles an unterschiedlichen Orten unterschiedliche Gasdrücke herrschen.

Entsprechende Überlegungen gelten auch für das bereits erwähnte Thermometer.

Wie bereits erwähnt, kann sich der Geräteparameter auch auf eine Zustandsgröße eines optischen Elements beziehen. Darunter werden hier Größen verstanden, die sich auf die Lage, die Form oder eine andere Eigenschaft des optischen Elements, z.B. dessen Brechzahl, beziehen. Diese Größen können sich durch äußere Einflüsse, z.B. Erwärmung, aber auch durch die gezielte Einwirkung von Manipulatoren verändern. Das Gerät ist in diesem Fall ein Meß-

gerät oder Sensor, mit dem sich die betreffende Zustandsgröße unmittelbar messen läßt.

Ferner kann der Geräteparameter sich auf eine Stellgröße eines Betätigungselements beziehen, durch das die Wirkung
5 wenigstens einer Komponente der Projektionsbelichtungsanlage veränderbar ist. In Betracht als Geräte kommen hier z.B. die vorstehend erwähnten Manipulatoren, durch welche die Lage und/oder Form der betreffenden optischen Elemente hochgenau veränderbar sind. Anstatt an einem optischen
10 Element unmittelbar eine Zustandsgröße zu messen, genügt es häufig, lediglich die Stellgröße des Manipulators zu kennen, welche die betreffende Zustandsgröße verändert.

Ein anderes Beispiel für ein derartiges Gerät ist eine
Einrichtung, mit der unterschiedliche Beleuchtungswinkel-
15 verteilungen von Projektionslicht einstellbar sind, das auf eine abzubildende Maske fällt. Dahinter steht die Überlegung, daß sich die von einer solchen Einrichtung eingestellte Beleuchtungswinkelverteilung auf die Temperaturverteilung der optischen Elemente auswirkt, die in
20 dem Projektionsobjektiv enthalten sind. Die Temperaturverteilung in den optischen Elementen wirkt sich wiederum auf die optischen Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs aus. Die spezifischen Eigenschaften einer Maske, an welche die eingestellte Beleuchtungswinkelverteilung
25 angepaßt ist, kann dabei unter Umständen vernachlässigt werden. Wird die Beleuchtungswinkelverteilung mit Hilfe der Einrichtung umgestellt, so kann die Temperatur

der Flüssigkeit entsprechend angepaßt werden. Vorzugsweise wird dabei die "Historie" des Projektionsbetriebs über einen gewissen zurückliegenden Zeitraum mit berücksichtigt, da sich diese ebenfalls auf die Temperaturverteilung in den optischen Elementen auswirkt.

Es hat sich gezeigt, daß Abbildungsfehler, die durch Schwankungen des Gasdrucks oder der Temperatur hervorgerufen werden, sogar ohne Abstimmung der Wellenlänge, d.h. alleine durch die Veränderung der Temperatur der Flüssigkeit, sehr wirksam korrigiert werden können. Am günstigsten ist es jedoch, wenn beide Maßnahmen kombiniert werden. Es ist dann ein Wellenlängenmanipulator vorgesehen, mit dem die Wellenlänge des in das Projektionsobjektiv eintretenden Projektionslichts auf einen Sollwert einstellbar ist. Die Steuerungseinheit bestimmt den Sollwert für die Wellenlänge in Abhängigkeit von dem Geräteparameter.

Ist ein Wellenlängenmanipulator vorhanden, so können in der Steuerungseinheit für unterschiedliche Werte der Stellgröße die Sollwerte für die Temperatur der Flüssigkeit und die Sollwerte für die Wellenlänge des Projektionslichts in einem Datenspeicher hinterlegt oder nach einem vorgegebenen funktionalen Zusammenhang berechenbar sein.

Wegen der Linearität der in diesem Zusammenhang relevanten physikalischen Zusammenhänge kann die Steuerungsein-

heit die Sollwerte für die Temperatur der Flüssigkeit und die Sollwerte für die Wellenlänge des Projektionslichts in einem festen Verhältnis derart bestimmen, daß für alle Werte des Geräteparameters das Verhältnis von Temperatur-
5 änderung der Flüssigkeit und Wellenlängenänderung des Projektionslichts konstant bleibt.

Eine weiter verbesserte Korrektur der hier betrachteten Abbildungsfehler ist möglich, wenn einer oder mehrere Manipulatoren vorgesehen sind, mit denen sich die Maske
10 und/oder die lichtempfindliche Schicht und/oder ein optisches Element des Projektionsobjektivs entlang einer optischen Achse des Projektionsobjektivs verfahren lassen.

Wie Beispielrechnungen zeigen, läßt sich durch Kombination eines Wellenlängenmanipulators und einer Temperiereinrichtung für die Temperierung der Flüssigkeit eine so gute
15 Korrektur erzielen, daß man Abbildungsfehler, die auf Schwankungen des Gasdrucks, aber auch auf andere Ursachen zurückgehen, sehr wirkungsvoll korrigieren kann. Die Steuerungseinheit ist dann vorzugsweise so ausgebildet,
20 daß sie den Sollwert für die Wellenlänge des Projektionslichts und den Sollwert für die Temperatur der Flüssigkeit gemeinsam derart bestimmt, daß die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs innerhalb vorgegebener Spezifikationen liegen. Diese Spezifikationen können sehr
25 viel enger sein als solche, die man bislang erreichen kann, wenn man entweder nur die Wellenlänge des Projekti-

onslichts oder alternativ nur die Temperatur der Flüssigkeit verändert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHUNGEN

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich
5 aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Darin zeigen:

Figur 1 eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel in einem schematisierten Meridional-
10 schnitt;

Figur 2 eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel in einer an die Figur 1 angelehnten Darstellung.

15 BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

Eine insgesamt mit 10 bezeichnete mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage weist ein Beleuchtungssystem 12 zur Erzeugung von Projektionslicht 13 auf. Das Beleuchtungssystem 12 enthält eine Lichtquelle 14, eine mit
20 zwei Linsen 16, 17 schematisch angedeutete Beleuchtungsoptik und eine Feldblende 18.

- 16 -

Die Lichtquelle 14 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel als ArF-Laser ausgeführt, der Projektionslicht 13 mit einer Wellenlänge von etwa 193 nm emittiert. Durch Verstellen des Laserresonators ist es möglich, die Wellenlänge des Projektionslichts 13 innerhalb eines vorgegebenen Wellenlängenbereichs kontinuierlich zu verstimmen. Die für das Verstimmen des Laserresonators vorgesehenen Einrichtungen bilden einen Wellenlängenmanipulator 19.

10 Zur Projektionsbelichtungsanlage 10 gehört ferner ein Projektionsobjektiv 20, mit dem eine in seiner Objektebene 22 anordenbare Maske 24 verkleinert auf eine lichtempfindliche Schicht 26 abgebildet werden kann. Die lichtempfindliche Schicht 26 befindet sich in einer Bildebene 15 28 des Projektionsobjektivs 20. Das Projektionsobjektiv 20 enthält eine Vielzahl optischer Elemente, von denen in der Figur 1 nur einige beispielhaft als Linsen angedeutet sind. Neben Linsen können z.B. auch plane oder gekrümmte Spiegel sowie andere optische Elemente wie Blenden oder 20 polarisationsbeeinflussende Elemente in dem Projektionsobjektiv 20 enthalten sein.

Bei der lichtempfindlichen Schicht 26 kann es sich beispielsweise um einen Photolack handeln, der auf einen Träger 30, z.B. einen Siliziumwafer, aufgebracht ist. Der 25 Träger 30 ist bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel am Boden eines wannenartigen, nach oben offenen Behälters 32 befestigt, der mit Hilfe einer mit 36 bezeichneten er-

- 17 -

sten Verfahrereinrichtung parallel zur Bildebene 28 und senkrecht dazu verfahrbar ist. Der Behälter 32 ist mit einer Immersionsflüssigkeit 38 so weit aufgefüllt, daß ein Zwischenraum 40 zwischen der lichtempfindlichen Schicht 26 und einer dieser Schicht 26 zugewandten bildseitig letzten optischen Fläche 42 des Projektionsobjektivs 20 zumindest teilweise, vorzugsweise jedoch vollständig mit der Immersionsflüssigkeit 38 gefüllt ist. Es versteht sich, daß man die Immersionsflüssigkeit 38 auch auf andere Weise als mit dem Behälter 32 in dem Zwischenraum 40 halten kann, wie dies an sich im Stand der Technik bekannt ist.

In dem Behälter 32 ist außerdem eine Temperiereinrichtung 44 angeordnet, die als reine Heizeinrichtung, aber auch als kombinierte Heiz/Kühleinrichtung ausgeführt sein kann. Mit Hilfe der Temperiereinrichtung 44 ist es möglich, die sich in dem Zwischenraum 40 befindende Immersionsflüssigkeit 38 sehr genau auf einer vorgegebenen Solltemperatur zu halten. Die Temperiereinrichtung 44 ist in der Figur 1 nur schematisch angedeutet. Mögliche Einzelheiten und Varianten für eine geeignete Temperiereinrichtung sind der WO 2005/071491 A2 entnehmbar, deren Offenbarungsgehalt vollständig zum Inhalt der vorliegenden Anmeldung gemacht wird. Die Temperiereinrichtung 44 kann aber auch Bestandteil eines Kreislaufs sein, in dem die Immersionsflüssigkeit 38 umgewälzt, gereinigt und auf die Solltemperatur gebracht wird. Eine solche Temperierein-

richtung ist beispielsweise in der US 4 346 164 A beschrieben.

Die Projektionsbelichtungsanlage 10 weist ferner einen Temperaturfühler 46 auf, der die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 mit hoher Genauigkeit mißt.

Die Temperiereinheit 44 und der Temperaturfühler 46 sind über Signalleitungen mit einer Steuerungseinheit 48 verbunden, mit der sich über einen Regelkreis eine Solltemperatur der Immersionsflüssigkeit 38 einstellen läßt. Die Steuerungseinheit 48 ist ferner mit der ersten Verfahreinrichtung 36 und mit einer zweiten Verfahreinrichtung 52 verbunden, die es ermöglicht, die Maske 24 nicht nur parallel zur Objektebene 22, sondern auch senkrecht dazu mit hoher Genauigkeit zu verfahren. Die erste und/oder die zweite Verfahreinrichtung 36 bzw. 52 kann so ausgebildet sein, daß auch Verkippungen der Maske 24 bzw. der lichtempfindlichen Schicht 26 um eine zu einer optischen Achse 50 senkrechte Achse erzeugt werden können. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn die Maske 24 mit einem außeraxialen Feld beleuchtet wird.

Ein mit 54 angedeuteter Z-Manipulator ist ebenfalls mit der Steuerungseinheit 48 verbunden und ermöglicht es, eine in dem Projektionsobjektiv 20 enthaltene Linse 56 entlang der optischen Achse 50 zu verfahren.

Außerdem weist die Projektionsbelichtungsanlage 10 ein als Meßgerät angedeutetes Barometer 58 auf, das ebenfalls mit der Steuerungseinheit 48 verbunden ist. Das Barometer 58 ermöglicht es, den Druck des Gases zu messen, welches das Projektionsobjektiv 20 umgibt. Werden die Zwischenräume zwischen den optischen Elementen des Projektionsobjektivs 20 mit einem chemisch inertem Spülgas gespült, so kann alternativ das Barometer auch in einem (oder auch mehrere Barometer in voneinander abgegrenzten) Zwischenräumen angeordnet sein. Da meist der Druck in den Zwischenräumen an den Außendruck angepaßt wird, kann in vielen Fällen jedoch ein Barometer genügen, das den Außendruck mißt.

Der Wellenlängenmanipulator 19, die erste Verfahreinrichtung 36, die zweite Verfahreinrichtung 52, der Z-Manipulator 54 sowie das Barometer 58 bilden zusammen mit der Steuerungseinheit 48 eine Korrektureinrichtung, mit der sich Abbildungsfehler des Projektionsobjektivs 10 korrigieren lassen.

Die Korrektureinrichtung funktioniert dabei wie folgt:

Beim Entwurf des Projektionsobjektivs 20 wird von bestimmten Brechzahlen der von Projektionslicht 13 durchtretenden brechenden optischen Elemente und der umgebenden Gase ausgegangen. Die Brechung an den Grenzflächen zwischen den optischen Elementen und den Gasen wird dabei

durch den Brechzahlquotienten der an der Grenzfläche aneinander angrenzenden Medien bestimmt.

Die Brechzahl der die brechenden optischen Elemente umgebenden Gase hängt vor allem von deren Dichte ab. Diese
5 wird u.a. davon bestimmt, auf welcher Höhe über dem Meeresspiegel sich die Projektionsbelichtungsanlage 10 befindet. Darüber hinaus können Schwankungen des barometrischen Außendrucks oder eine Erwärmung der Gase dazu führen, daß sich deren Druck verändert.

10 Infolge der Druckveränderung ändert sich auch der Brechzahlquotient an den brechenden Grenzflächen zwischen den Gasen und den brechenden optischen Elementen. Weicht der Brechzahlquotient spürbar von demjenigen ab, der bei dem Entwurf des Projektionsobjektivs 20 zugrundegelegt wurde,
15 so führt dies zu Abbildungsfehlern.

Bei der Projektionsbelichtungsanlage 10 wird der Druck der Gase vor oder auch während des Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage 10 mit Hilfe des Barometers 58 gemessen. Die Steuerungseinheit 48 ermittelt auf der Grundlage
20 des gemessenen Drucks Sollwerte für die mit der Steuerungseinheit 48 verbundenen Manipulatoren. Im einzelnen handelt es sich dabei um einen Sollwert für die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38, einen Sollwert für die Wellenlänge des Projektionslichts 13 sowie Soll-
25 werte für die jeweilige Lage der Linse 56, der Maske 24

und der lichtempfindlichen Schicht 26 entlang der optischen Achse 50.

	Z2/3 [n m]	Z4 [nm]	Z5/6 [nm]	Z7/8 [nm]	Z9 [nm]	Z10/11 [nm]	Z12/13 [nm]	Z16 [nm]
Fehler unkorrigiert	151.1	-1179.9	14.8	19.5	-272.0	4.3	1.0	-85.1
Korrektur mit Wellenlänge und Verlagerung von Wafer und Maske	0.9	-0.01	0.12	0.16	0.35	0.03	0.02	-1.41
Korrektur zusätzlich mit Temperatur der Immersionsflüssigkeit	0.07	-0.03	0.01	0.06	0.00	0.01	0.01	-0.02

Tabelle 1: Abbildungsfehler bei Druckänderung von 25 mbar

5 Die Tabelle 1 zeigt für ein konkretes Projektionsobjektiv
 20, wie sich ein Druckunterschied von 25 mbar auf eine
 Reihe unterschiedlicher Abbildungsfehler auswirkt, die in
 der Tabelle 1 durch Zernike-Polynome angegebene Kürzel be-
 zeichnet sind. Die in der Zeile darunter angegebenen Zah-
 10 lenwerte zeigen, wie sich die durch die Druckänderung
 hervorgerufenen Abbildungsfehler korrigieren lassen, wenn
 lediglich die Wellenlänge des Projektionslichts 13 mit
 dem Wellenlängenmanipulator 19 sowie die Lage der Maske
 24 und der lichtempfindlichen Schicht 26 entlang der op-
 15 tischen Achse 50 geeignet verändert wird. In der Zeile
 darunter ist angegeben, wie sich die damit erzielten Feh-
 ler nochmals erheblich verringern lassen, wenn zusätzlich
 auch die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 in ge-
 eigneter Weise verändert wird. Im angenommenen Beispiel-
 20 fall genügt eine Temperaturänderung von 0,056 k gegenüber

einer Referenztemperatur bei Normaldruck, um die erhebliche Verringerung der Abbildungsfehler zu bewirken.

Die Tabelle 1 zeigt somit deutlich, wie sich durch die zusätzliche Veränderung der Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 eine deutliche Verbesserung der Korrektur solcher Abbildungsfehler erreichen läßt, die durch Änderungen des Drucks der umgebenden Gase hervorgerufen wird.

Um für jeden Druckwert, der von dem Barometer 58 gemessen wird, optimale Sollwerte für die Wellenlänge des Projektionslichts 13, die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 sowie der Lage entlang der optischen Achse 50 der Maske 24 und der lichtempfindlichen Schicht 26 auffinden zu können, kann die Steuerungseinheit 48 einen Speicher mit einer darin hinterlegten Tabelle enthalten, welche diese Sollwerte enthält. Zur Ermittlung der Sollwerte können entweder vorab entsprechende Versuche durchgeführt worden sein, bei denen die Abbildungsfehler in Abhängigkeit des Gasdrucks meßtechnisch ermittelt werden. Durch Simulation oder Versuche können dann für eine Vielzahl von Druckwerten Kombinationen der genannten Sollwerte ermittelt werden, welche eine optimale Korrektur der Abbildungsfehler herbeiführen.

Alternativ hierzu ist es z.B. auch möglich, die Abhängigkeit der einzelnen Sollwerte von dem gemessenen Gasdruck in Form von funktionalen Zusammenhängen zu erfassen, so

daß die Steuerungseinheit 48 bei jedem Gasdruck die entsprechenden Sollwerte selbst errechnen kann.

Es hat sich im übrigen gezeigt, daß sich eine gute Korrektur von Abbildungsfehlern, die durch Druckschwankungen verursacht werden, auch allein mit einer Temperaturveränderung der Immersionsflüssigkeit 38 herbeigeführt werden kann. Da die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 ohnehin sehr genau festgelegt sein muß, kann dann u.U. der Aufwand entfallen, der für die übrigen Manipulatoren erforderlich ist. Insbesondere die ersten und zweiten Verfahrenrichtungen 36 bzw. 52 sind mechanisch relativ aufwendig und deswegen teuer. Können etwas größere Abbildungsfehler toleriert werden, so stellt eine solche Variante, bei der zur Korrektur der Abbildungsfehler lediglich die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 38 verändert wird, eine interessante und kostengünstige Alternative dar.

Ferner hat sich gezeigt, daß man sehr wirkungsvoll mit einer Kombination eines Wellenlängenmanipulators 19 und der Temperierung der Immersionsflüssigkeit 38 auch solche Abbildungsfehler korrigieren kann, die nicht durch Druckschwankungen hervorgerufen sind.

Die Figur 2 zeigt in einer an die Figur 1 angelehnten Darstellung einen Meridionalschnitt durch eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung. Teile der ins-

gesamt mit 110 bezeichneten Projektionsbelichtungsanlage, die Teilen der in der Figur 1 gezeigten Projektionsbelichtungsanlage 10 entsprechen, sind mit um 100 erhöhten Bezugswerten bezeichnet und werden teilweise nicht nochmals näher beschrieben.

Die Projektionsbelichtungsanlage 110 unterscheidet sich von der in der Figur 1 gezeigten Projektionsbelichtungsanlage 10 unter anderem dadurch, daß das Projektionsobjektiv 120 durch eine Barriere 159 in zwei gasdicht voneinander getrennte Abschnitte 160a, 160b unterteilt ist. In den Abschnitten 160a, 160b sind ein erstes Thermometer 162a bzw. ein zweites Thermometer 162b angeordnet. Die Thermometer 162a, 162b haben die Aufgabe, die Temperatur eines Spülgases zu messen, das die Zwischenräume zwischen den in den jeweiligen Abschnitten 160a bzw. 160b angeordneten optischen Elementen durchspült. Die Thermometer 162a, 162b sind über Signalleitungen mit der Steuerungseinheit 148 verbunden.

Ferner ist eine mit 116 bezeichnete Einrichtung der Beleuchtungsoptik im Beleuchtungssystem 112 derart ausgebildet, daß sich die Beleuchtungswinkelverteilung des auf die Maske 124 auftreffenden Projektionslichts 113 verändern läßt. Die Einrichtung 116 der Beleuchtungsoptik kann zu diesem Zweck beispielsweise austauschbare oder verstellbare optische Komponenten, z.B. diffraktive optische Elemente, ein Zoom-Objektiv, Axikon-Elemente oder Blenden, enthalten.

Außerdem ist als weiterer Korrekturmechanismus eine Anordnung von mehreren Druckaktuatoren 155 vorgesehen, mit denen sich die Linse 156 rotationsasymmetrisch deformieren läßt. Mit derartigen Verformungen lassen sich insbesondere solche Abbildungsfehler verringern, die durch eine ebenfalls rotationsasymmetrische Erwärmung von optischen Elementen hervorgerufen werden.

Die Projektionsbelichtungsanlage 110 funktioniert wie folgt:

10 Die Einrichtung 116 übermittelt an die Steuerungseinheit 148 die Information, welche Beleuchtungswinkelverteilung eingestellt ist. Die Beleuchtungswinkelverteilung wirkt sich im allgemeinen auf den Weg aus, welches das von der Maske 124 gebeugte Projektionslichts 113 in dem Projektionsobjektiv 120 nimmt. Der Lichtweg des Projektionslichts 15 113 wiederum beeinflußt die Temperaturverteilung, die sich in den optischen Elementen des Projektionsobjektivs 120 durch teilweise Absorption des Projektionslichts 113 einstellt. Durch Veränderung der Temperaturverteilung in 20 Linsen und anderen optischen Elementen verändern sich auch deren optische Eigenschaften, was zu Abbildungsfehlern führt. Die Abbildungsfehler können so groß sein, daß Korrekturmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Zur Korrektur dieser Abbildungsfehler veranlaßt die 25 Steuerungseinheit 148 eine geeignete rotationsasymmetrische Deformation der Linse 156 sowie eine Änderung der

Temperatur der Immersionsflüssigkeit 138. Die Änderung der Temperatur der Immersionsflüssigkeit 138 kann dabei rotationssymmetrische Anteile der Abbildungsfehler korrigieren, und/oder es werden rotationssymmetrische Abbildungsfehler korrigiert, die durch die Deformation der Linse 156 eingeführt werden.

Bei der Ermittlung von Steuersignalen für die Druckaktuatoren 155 und die Temperiereinrichtung 144 zur Temperierung der Immersionsflüssigkeit 138 kann auf unterschiedliche Verfahren zurückgegriffen werden:

Grundsätzlich ist es möglich, bei Kenntnis der zu projizierenden Maske 124, der im Beleuchtungssystem 112 eingestellten Beleuchtungswinkelverteilung und den Designdaten des Projektionsobjektivs 120 vorherzusagen, welchen Weg das gebeugte Projektionslicht 113 im Projektionsobjektiv 120 nimmt und wie sich dabei die dem Projektionslicht 120 ausgesetzten optischen Elemente erwärmen. Ferner kann durch Simulation ermittelt werden, wie sich die Erwärmung der optischen Elemente auf die optischen Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs 120 auswirkt und welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um durch die Erwärmung verursachte Abbildungsfehler zu verringern.

Bei der Berechnung der Temperaturverteilung, der Abbildungsfehler und der erforderlichen Korrekturmaßnahmen ist im allgemeinen auch das dynamische Verhalten zu berücksichtigen. So macht es einen Unterschied, ob eine Projek-

tion der Maske 124 stattfindet, nachdem die Projektions-
belichtungsanlage 110 zuvor mehrere Tage lang nicht be-
trieben wurde, ob zuvor eine andere Maske mit einer ande-
ren Beleuchtungswinkelverteilung projiziert wurde oder ob
5 die gleiche Maske bereits einige Tage lang projiziert
wurde, so daß sich zwischenzeitlich ein stationärer Zu-
stand eingestellt hat.

Da die vorstehend erläuterten Berechnungen relativ auf-
wendig sind, kann auch auf vereinfachte Verfahren zurück-
10 gegriffen werden. In Betracht kommen insbesondere Kali-
brierverfahren, bei denen man im Wege von Kalibriermes-
sungen zuvor einmalig festgestellt hat, wie sich bei be-
stimmten Beleuchtungswinkelverteilungen die Abbildungsei-
genschaften des Projektionsobjektivs 120 verändern und
15 welche Korrekturmaßnahmen die beste Korrekturwirkung er-
zielen. Ausgenutzt werden kann dabei, daß die Beleuch-
tungswinkelverteilung im allgemeinen an bestimmte Masken-
typen angepaßt ist, so daß es gar nicht mehr auf die spe-
zifischen Eigenschaften der konkret zu projizierenden
20 Maske 124 ankommt.

In einer Tabelle können bei diesem vereinfachten Vorgehen
beispielsweise für unterschiedliche Beleuchtungswinkel-
verteilungen die optimalen Korrekturmaßnahmen abgelegt
sein, wie man sie zuvor durch entsprechende Kalibrierung
25 ermittelt hat. Vorzugsweise wird dabei auch das erwähnte
dynamische Verhalten berücksichtigt, so daß beispielswei-
se nach erstmaliger Aufnahme eines Projektionsbetriebs

die Korrekturmaßnahmen immer wieder verändert werden, bis sich schließlich ein stationärer Zustand eingestellt hat. Auch die Abhängigkeit von früheren verwendeten Beleuchtungssettings kann bei der Kalibrierung dienenden Vorversuchen ermittelt werden.

Für die Steuerungseinheit 148 bedeutet dies, daß sie gewissermaßen die Historie des Projektionsbetriebs und insbesondere das jeweils eingestellte Beleuchtungssetting über einen gewissen zurückliegenden Zeitraum erfassen und abspeichern sollte. Aus den abgelegten Kalibrierdaten können dann die optimalen Steuersignale für die Druckaktuatoren 155 und die Temperiereinrichtung 144 ausgelesen werden.

Soll eine andere Maske mit einer anderen Beleuchtungswinkelverteilung projiziert werden, so liest die Steuerungseinheit 148 aus den Kalibrierdaten andere Steuersignale für die Druckaktuatoren 155 und die Temperiereinrichtung 144 aus.

Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel messen die Thermometer 162a, 162b während des Betriebs der Projektionsbelichtungsanlage 110 die Temperatur in den Abschnitten 160a bzw. 160b und geben die Meßwerte an die Steuerungseinheit 148 weiter. Angenommen wird dabei, daß die Temperatur der Spülgase durch Spüleinrichtungen für die Umwälzung der Spülgase in den Abschnitten 160a, 160b auf einen Sollwert eingestellt wird, der von der außerhalb

des Projektionsobjektivs 120 herrschenden Außentemperatur abhängt. Die Solltemperatur der Spülgase wird dabei so bestimmt, daß sich das Projektionsobjektiv 120 bei Veränderungen der Außentemperatur minimal verformt.

5 Halten die Spüleinrichtungen den Druck der Spülgase konstant, um beispielsweise ein vorgegebenes Verhältnis zu dem außerhalb des Projektionsobjektivs 120 herrschenden Außendruck aufrecht zu erhalten, so bewirkt eine Änderung der Temperatur der Spülgase auch eine Veränderung von deren Dichte. Diese wirkt sich wiederum, wie dies oben bereits erläutert wurde, auf deren Brechzahlen und damit auch auf die optischen Eigenschaften des Projektionsobjektivs 120 aus.

Die Steuerungseinheit 148 ermitteln nun auf der Grundlage der gemessenen Temperaturen in den Abschnitten 160a, 160b geeignete Korrekturmaßnahmen, mit denen Abbildungsfehler verringert werden können, die durch Veränderungen der Brechzahlen der Spülgase hervorgerufen werden. In Betracht kommen dabei insbesondere eine Veränderung der Temperatur der Immersionsflüssigkeit 138 sowie eine Veränderung der Wellenlänge des Projektionslichts 113.

Vorzugsweise werden von der Steuerungseinheit 148 die beiden vorstehend erläuterten Korrekturmaßnahmen, die durch Änderungen der Beleuchtungswinkelverteilung einerseits und durch Änderungen der Temperatur der Spülgase andererseits veranlaßt sind, aufeinander abgestimmt. So

können z.B. die in einer Kalibriertabelle hinterlegten Werte für Steuersignale in Abhängigkeit von der eingestellten Beleuchtungswinkelverteilung weiter abhängigen von den Temperaturen in den Abschnitten 160a, 160b.

5 Bei einem abgewandelten Ausführungsbeispiel sind in den Druckaktuatoren 155 Sensoren integriert, welche die Deformation der Linse 156 erfassen. Die Steuerungseinheit 148 steuert dann die Temperatur der Immersionsflüssigkeit 138 unmittelbar in Abhängigkeit von Signalen, die von den
10 Sensoren erzeugt werden und ein Maß für die tatsächliche Deformation der Linse 156 sind.

Es versteht sich, daß die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele lediglich exemplarischen Charakter haben. So können insbesondere die in den Ausführungsbeispielen beschriebenen Messungen und Korrekturmaßnahmen
15 beliebig untereinander kombiniert werden.

PATENTANSPRÜCHE

=====

1. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage,
mit:
 - a) einem Projektionsobjektiv (20; 120), das mehrere optische Elemente (56; 156) enthält,
 - 5 b) einem Gerät (58; 116, 155, 162a, 162b), an dem ein Geräteparameter abrufbar ist, wobei der Geräteparameter sich auf eine Umgebungsbedingung oder eine Zustandgröße von mindestens einem der optischen Elemente (56; 156)
10 oder auf eine Stellgröße eines Betätigungselements bezieht, durch das die Wirkung wenigstens einer Komponente (116) der Projektionsbelichtungsanlage veränderbar ist,
 - 15 c) einer Temperiereinrichtung (44; 144), mit welcher die Temperatur einer innerhalb oder außerhalb des Projektionsobjektivs (20; 120) angeordneten und von Projektionslicht (13; 113) durchtretenen Flüssigkeit (38; 138) auf einen Sollwert einstellbar ist,
 - 20 d) einer Steuerungseinheit (48; 148), welche den Sollwert für die Temperatur der Flüssigkeit

- 32 -

in Abhängigkeit von dem Geräteparameter bestimmt.

2. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, wobei das Gerät ein Barometer (58) zur Messung des Drucks eines Gases ist.
5
3. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, wobei das Gerät ein Thermometer (162a, 162b) zur Messung der Temperatur eines Gases ist.
4. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, wobei das Gerät ein Manipulator (54; 155) ist, mit dem die räumliche Anordnung oder Form wenigstens eines optischen Elements (56; 156) des Projektionsobjektivs veränderbar ist.
10
5. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, wobei das Gerät eine Einrichtung (116) ist, mit der unterschiedliche Beleuchtungswinkelverteilungen von Projektionslicht (113) einstellbar sind, das auf eine abzubildende Maske (124) fällt.
15
6. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Projektionsobjektiv (20; 120) mindestens zwei feste brechende optische Elemente enthält, deren Brechzahlen sich voneinander unterscheiden.
20

7. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem Wellenlängenmanipulator (19; 119), mit dem die Wellenlänge des in das Projektionsobjektiv (20; 120) eintretenden Projektionslichts (13; 113) auf einen Sollwert einstellbar ist, wobei die Steuerungseinheit (48; 148) den Sollwert für die Wellenlänge in Abhängigkeit von dem Geräteparameter bestimmt.
8. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7, wobei in der Steuerungseinheit (48; 148) für unterschiedliche Werte des Geräteparameters die Sollwerte für die Temperatur der Flüssigkeit (38; 138) und die Sollwerte für die Wellenlänge des Projektionslichts (13; 113) in einem Datenspeicher hinterlegt oder nach einem vorgegebenen funktionalen Zusammenhang berechenbar sind.
9. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Steuerungseinheit (48; 148) die Sollwerte für die Temperatur der Flüssigkeit und die Sollwerte für die Wellenlänge des Projektionslichts (13; 113) in einem festen Verhältnis derart bestimmt, daß für alle Werte des Geräteparameters das Verhältnis von Temperaturänderung der Flüssigkeit und Wellenlängenänderung des Projektionslichts konstant bleibt.

10. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage,
mit:
- a) einem Beleuchtungssystem (12; 112) zur Erzeugung von Projektionslicht (13; 113),
 - 5 b) einem Projektionsobjektiv (20; 120) und
 - c) einer Korrekturereinrichtung zur Korrektur von Abbildungsfehlern des Projektionsobjektivs, die aufweist:
 - eine Temperiereinrichtung (44; 144),
10 mit welcher die Temperatur einer innerhalb oder außerhalb des Projektionsobjektivs angeordneten und von Projektionslicht durchtretenen Flüssigkeit (38; 138) auf einen Sollwert einstellbar
15 ist,
 - einen Wellenlängenmanipulator (19; 119), mit dem die Wellenlänge des in das Projektionsobjektiv eintretenden Projektionslichts auf einen Sollwert
20 einstellbar ist, und
 - eine Steuerungseinheit (48; 148), welche den Sollwert für die Temperatur der

Flüssigkeit und den Sollwert für die Wellenlänge bestimmt.

11. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 10, wobei die Steuerungseinheit den Sollwert für die Wellenlänge des Projektionslichts und den Sollwert für die Temperatur der Flüssigkeit gemeinsam derart bestimmt, daß die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs innerhalb vorgegebener Spezifikationen liegen.
12. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Korrekturereinrichtung ferner ein Barometer (58) aufweist zur Messung des Drucks eines Gases, das von Projektionslicht durchtreten wird.
13. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Korrekturereinrichtung ferner mindestens einen Manipulator (52, 36, 54; 152; 136) zum Verfahren der Maske, der lichtempfindlichen Schicht oder eines optischen Elements des Projektionsobjektivs entlang einer optischen Achse des Projektionsobjektivs aufweist.
14. Verfahren zur Korrektur von Abbildungsfehlern in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit der eine Maske (24; 124) auf eine lichtempfindliche Schicht (26; 126) abbildbar ist, mit folgenden Schritten:

- 36 -

- a) Bereitstellen eines Projektionsobjektivs (20; 120), das mehrere optische Elemente (56; 156) enthält;
- b) Bereitstellen einer Flüssigkeit (38; 138), die von Projektionslicht (13; 113) durchtreten wird;
- c) Bestimmen eines Geräteparameters, der sich auf eine Umgebungsbedingung oder eine Zustandsgröße von mindestens einem der optischen Elemente (56; 156) oder auf eine Stellgröße eines Betätigungselements bezieht, durch das die Wirkung wenigstens einer Komponente (116) der Projektionsbelichtungsanlage veränderbar;
- d) Verändern der Temperatur der Flüssigkeit (38; 138) in Abhängigkeit von dem in Schritt c) bestimmten Geräteparameter.
15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei der Geräteparameter der von einem Barometer (58) ermittelte Meßwert für den Druck eines Gases ist, das von Projektionslicht (13; 113) durchtreten wird.
16. Verfahren zur Korrektur von Abbildungsfehlern in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit der eine Maske (24; 124) auf eine

lichtempfindliche Schicht (26; 126) abbildbar ist,
mit folgenden Schritten:

- a) Bereitstellen eines Projektionsobjektivs (20; 120);
 - 5 b) Bereitstellen einer Flüssigkeit (38; 138), die von Projektionslicht (13; 113) durchtreten wird;
 - c) 10 Verändern der Wellenlänge des Projektionslichts, welches in das Projektionsobjektiv eintritt, und der Temperatur der Flüssigkeit derart, daß die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs innerhalb vorgegebener Spezifikationen liegen.
17. 15 Verfahren zur Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente, mit folgenden Schritten:
- a) Bereitstellen einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 und
 - 20 b) Projizieren der Maske auf die lichtempfindliche Schicht.

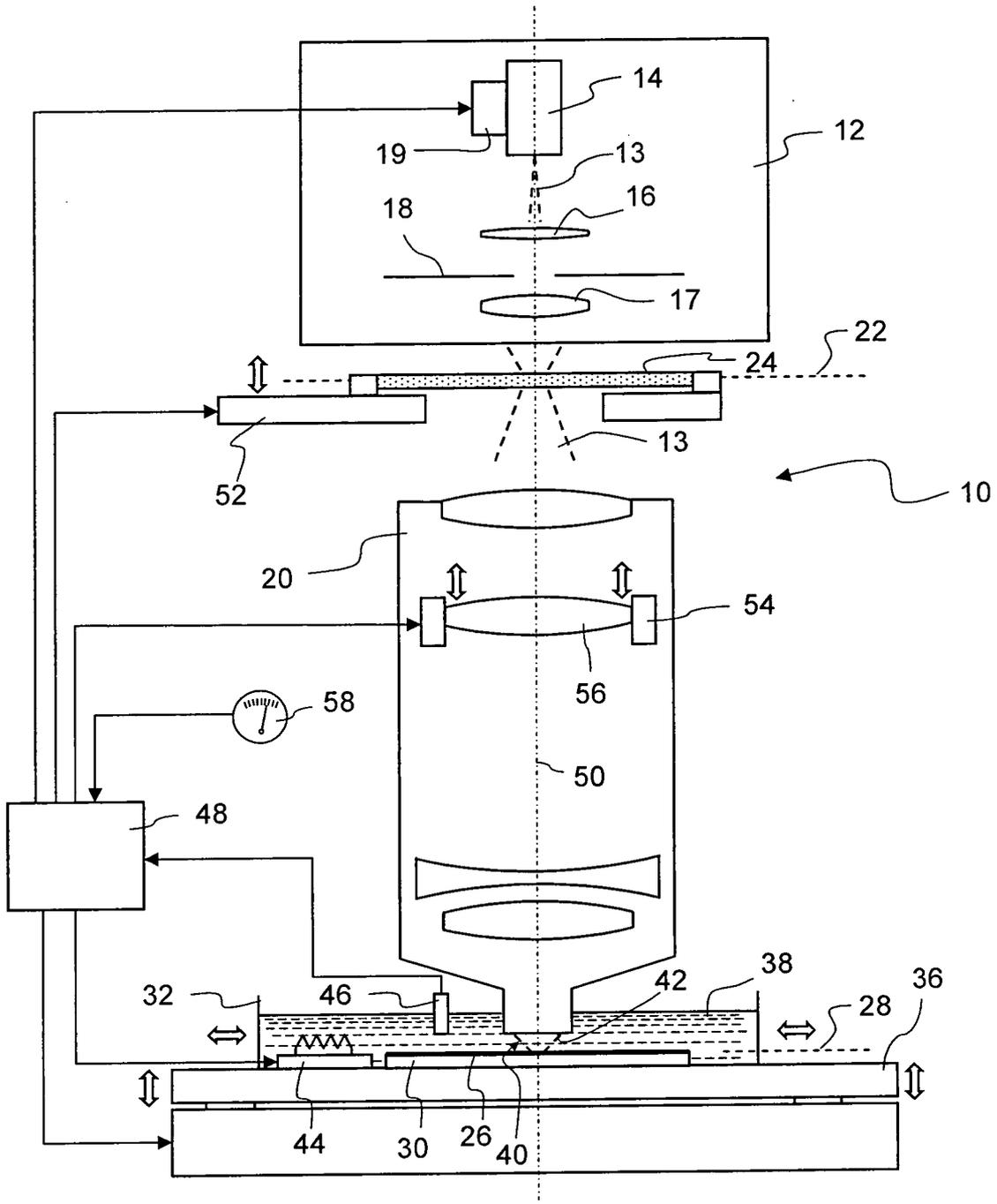


Fig. 1

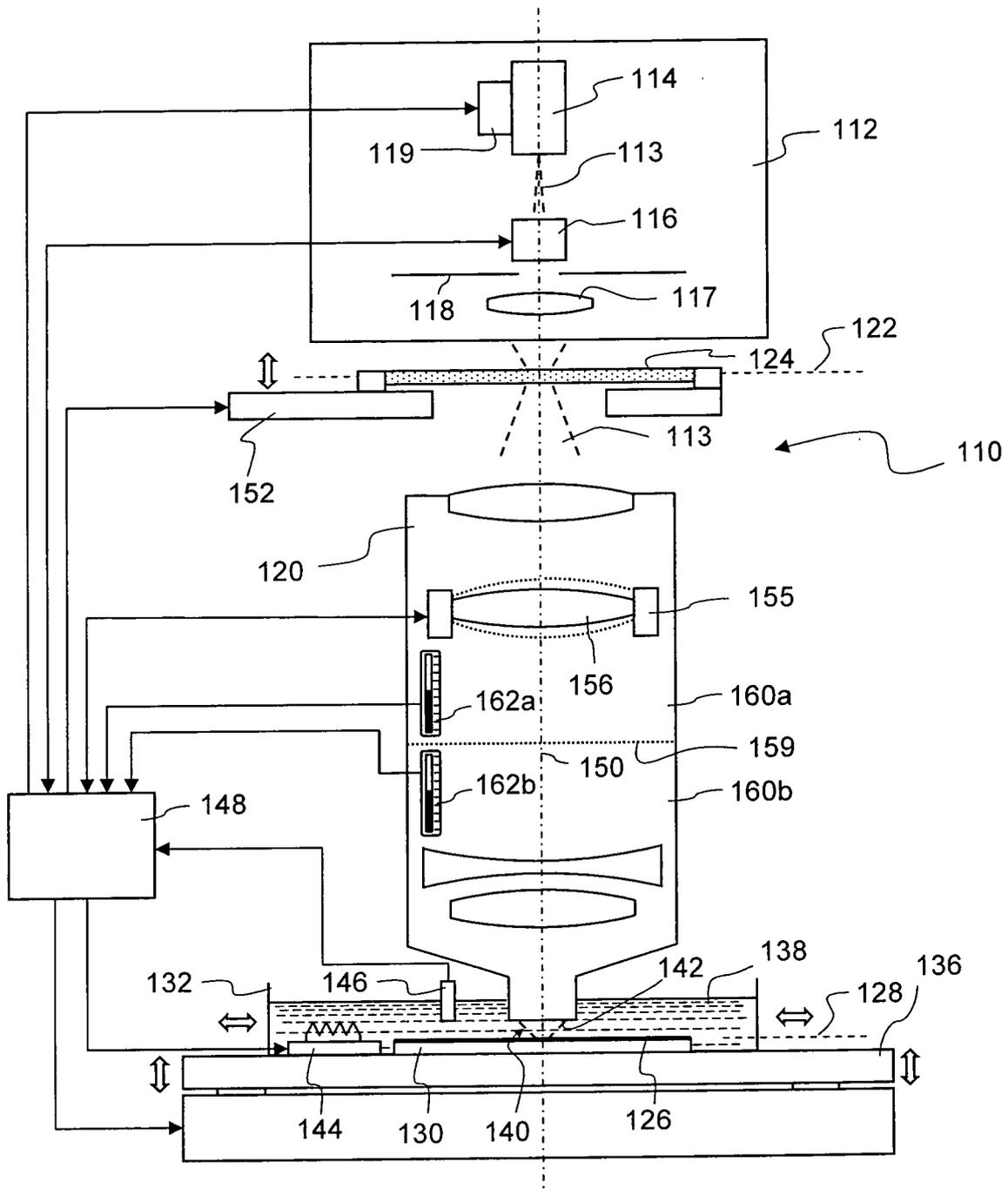


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/005986

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H01L G03F G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2002/006561 A1 (TANIGUCHI TETSUO [JP]) 17 January 2002 (2002-01-17) abstract figure 1 paragraph [0001] paragraph [0039] - paragraph [0053]	1-6, 14, 15, 17
A	-----	10, 16
Y	EP 1 524 558 A (ASML NETHERLANDS BV [NL]; ZEISS CARL SMT AG [DE]) 20 April 2005 (2005-04-20) abstract figures 1,4 paragraph [0001] - paragraph [0036] paragraph [0048] - paragraph [0049] paragraph [0066] ----- -/--	1-6, 14, 15, 17

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

* & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 October 2007

Date of mailing of the international search report

29/10/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Andersen, Ole

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/005986

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 452 921-A (CANON KK [JP]) 1 September 2004 (2004-09-01) abstract figure 1 paragraph [0001] paragraph [0067] - paragraph [0070]	10, 11, 13, 16, 17
A	-----	1, 14
Y	US 5 091 801 A (EBSTEIN STEVEN [US]) 25 February 1992 (1992-02-25) abstract figures 2, 9 column 1, line 6 - line 45 column 4, line 64 - line 66 column 6, line 39 - line 62 column 10, line 45 - line 54	10, 11, 13, 16, 17
A	-----	1, 14
A	US 2006/092533 A1 (SOGARD MICHAEL [US]) 4 May 2006 (2006-05-04) abstract figures 1, 3, 5 paragraph [0002] paragraph [0006] - paragraph [0011] paragraph [0024] paragraph [0027]	1, 10, 14, 16, 17
A	WO 2004/053596 A (ZEISS CARL SMT AG [DE]; GRAEUPNER PAUL [DE]) 24 June 2004 (2004-06-24) abstract figure 1 page 1, line 10 - page 8, line 12 -----	1, 10, 14, 16, 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/005986

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002006561	A1	17-01-2002	NONE	
EP 1524558	A	20-04-2005	JP 2005136404 A US 2005179877 A1	26-05-2005 18-08-2005
EP 1452921	A	01-09-2004	NONE	
US 5091801	A	25-02-1992	NONE	
US 2006092533	A1	04-05-2006	US 2007053090 A1 US 2007195302 A1	08-03-2007 23-08-2007
WO 2004053596	A	24-06-2004	AU 2003221481 A1 DE 10257766 A1 EP 1570315 A2 JP 2006509357 T US 2005264780 A1 US 2007195299 A1	30-06-2004 15-07-2004 07-09-2005 16-03-2006 01-12-2005 23-08-2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G03F7/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H01L G03F G02B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2002/006561 A1 (TANIGUCHI TETSUO [JP]) 17. Januar 2002 (2002-01-17) Zusammenfassung Abbildung 1 Absatz [0001] Absatz [0039] - Absatz [0053]	1-6, 14, 15, 17
A		10, 16
Y	EP 1 524 558 A (ASML NETHERLANDS BV [NL]; ZEISS CARL SMT AG [DE]) 20. April 2005 (2005-04-20) Zusammenfassung Abbildungen 1,4 Absatz [0001] - Absatz [0036] Absatz [0048] - Absatz [0049] Absatz [0066]	1-6, 14, 15, 17

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
5. Oktober 2007	29/10/2007
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Andersen, Ole

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 452 921 A (CANON KK [JP]) 1. September 2004 (2004-09-01) Zusammenfassung Abbildung 1 Absatz [0001] Absatz [0067] - Absatz [0070]	10, 11, 13, 16, 17
A	-----	1, 14
Y	US 5 091 801 A (EBSTEIN STEVEN [US]) 25. Februar 1992 (1992-02-25) Zusammenfassung Abbildungen 2, 9 Spalte 1, Zeile 6 - Zeile 45 Spalte 4, Zeile 64 - Zeile 66 Spalte 6, Zeile 39 - Zeile 62 Spalte 10, Zeile 45 - Zeile 54	10, 11, 13, 16, 17
A	-----	1, 14
A	US 2006/092533 A1 (SOGARD MICHAEL [US]) 4. Mai 2006 (2006-05-04) Zusammenfassung Abbildungen 1, 3, 5 Absatz [0002] Absatz [0006] - Absatz [0011] Absatz [0024] Absatz [0027]	1, 10, 14, 16, 17
A	WO 2004/053596 A (ZEISS CARL SMT AG [DE]; GRAEUPNER PAUL [DE]) 24. Juni 2004 (2004-06-24) Zusammenfassung Abbildung 1 Seite 1, Zeile 10 - Seite 8, Zeile 12	1, 10, 14, 16, 17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/005986

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2002006561	A1	17-01-2002	KEINE
EP 1524558	A	20-04-2005	JP 2005136404 A 26-05-2005 US 2005179877 A1 18-08-2005
EP 1452921	A	01-09-2004	KEINE
US 5091801	A	25-02-1992	KEINE
US 2006092533	A1	04-05-2006	US 2007053090 A1 08-03-2007 US 2007195302 A1 23-08-2007
WO 2004053596	A	24-06-2004	AU 2003221481 A1 30-06-2004 DE 10257766 A1 15-07-2004 EP 1570315 A2 07-09-2005 JP 2006509357 T 16-03-2006 US 2005264780 A1 01-12-2005 US 2007195299 A1 23-08-2007